

SKRIPSI

ANALISA KEKUATAN STRUKTUR *CRANE HOOK* DENGAN PERANGKAT LUNAK ELEMEN HINGGA UNTUK PEMBEBANAN 20 TON

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Pendidikan Tingkat Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Bengkulu



Oleh

ANGGI KURNIAWAN
G1C010005

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS BENGKULU

2014

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi yang berjudul “**ANALISA KEKUATAN STRUKTUR *CRANE HOOK* DENGAN PERANGKAT LUNAK ELEMEN HINGGA UNTUK PEMBEBANAN 20 TON**” tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis diacu dalam naskah dan disebut dalam daftar pustaka.

Bengkulu, Agustus 2014



Anggi Kurniawan
G1C010005

MOJJO

- **We do what we want because we can**
- **The best revenge is massive success**
- **Do what you fear and watch it disappear**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin.....

Penuh rasa syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT,

karya ini ku persembahkan kepada

➤ **Agama Islam, Bangsa dan Negara Ku**

➤ **Kedua orang tua tercinta, Ayah (Yasril) dan Mama**

(Elpih S.) terima kasih atas semua pengorbanan,

cinta, kasih sayang, dan ketulusan yang diberikan

kepadaku selama ini, tanpa mengeluh dan berputus

asa. Semangat dan motivasi yang kalian berikan

akan selalu menjadi pacuan untuk maju.

➤ **Kedua orang tua tercinta, Bakdang (Drs. Herman**

Zulian) dan Makdang (Mini Hartati) terima kasih

atas semua pengorbanan, cinta, kasih sayang, dan

ketulusan yang diberikan kepadaku selama ini,

tanpa mengeluh dan berputus asa. Semangat dan

motivasi yang kalian berikan akan selalu menjadi pacuan untuk maju.

➤ **Kakakku (Yophita Sari, S.Pd., Yessi Rosalina, M.Si. dan Tri Wahyuni, S.Pd) serta adikku (Agung Perdana dan Adam Alfarizi) yang selalu memberikan motivasi dan semangatnya.**

➤ **Teman dekatku (Merlisa Praptiningtias Oktaviana, S.Si) yang selama tiga tahun lebih ini selalu menemani dan memberikan motivasi yang begitu besar. Terima kasih atas pengorbanannya selama ini**

➤ **Semua dosen-dosenku di program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu. Terima kasih bapak yang telah memberikan ilmu, motivasi, semangat dan pengalaman yang tidak pernah diperoleh sebelumnya dan tidak ternilai harganya**

➤ **Rekan-rekan Teknik Mesin Universitas Bengkulu.**

➤ **Almamater ku.**

KATA PENGANTAR



Alhamdulillahirabbil'aalamin, Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir dengan judul **“ANALISA KEKUATAN STRUKTUR CRANE HOOK DENGAN PERANGKAT LUNAK ELEMEN HINGGA UNTUK PEMBEBANAN 20 TON”** dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat guna mendapatkan gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.

Dengan selesainya laporan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih setulus-tulusnya kepada :

1. ALLAH SWT.
2. Bapak **Angky Puspawan S.T.,M.T** selaku ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu
3. Bapak **Ahmad Fauzan Suryono S.T.,M.T** selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak membantu, memberikan motivasi, memberikan pencerahan bahkan selalu mencarikan solusi-solusi terbaik dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak **Erinofiardi S.T.,M.T** selaku Dosen Pembimbing Pendamping atas masukan-masukannya dan memberikan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Bapak **Agus Nuramal S.T.,M.T.** selaku penguji yang telah banyak membantu dalam pemahaman dan tambahan-tambahan pada Tugas Akhir ini.

6. Bapak **A Sofwan FA, M. Tech., Ph.D** selaku penguji yang telah banyak membantu dalam pemahaman dan tambahan-tambahan pada Tugas Akhir ini.
7. Seluruh dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Bengkulu.
8. Staf prodi Teknik Mesin atas bantuan-bantuan pelaksanaan seminar.
9. **Kedua orangtuaku**, beserta **saudara-saudaraku** yang telah banyak memberikan dukungan, doa, nasehat, motivasi dan semangat dalam hidupku sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
10. Teman-teman seperjuangan di Teknik Mesin 2010 (Danni, Mawardi, Supriadi, Daniel, Tian, Udi, Romi, Deddi, Rahadian dan semua teman-teman seperjuangan yang tidak bisa disebutkan satu-persatu serta semua anggota **HMM** yang selalu kompak.
11. Seluruh rekan-rekan asisten **Laboratorium Kontruksi dan Perancangan** dan rekan-rekan asisten yang lain atas *sharing* ilmu yang mudah-mudahan akan selalu berkah.

Penulis menyadari bahwa sebagai manusia biasa tidak luput dari kesalahan, maka dari itu penulis menyadari tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Dengan ini penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk lebih menyempurnakan tugas akhir ini.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca baik di lingkup kampus UNIVERSITAS BENGKULU dan lingkup luar. Semoga ALLAH SWT melimpahkan rahmat dan hidayah-nya kepada kita semua, sehingga ini semua yang kita kerjakan akan menjadi amal ibadah disisi-nya, amin.

Bengkulu, Juni 2014

Penulis

ABSTRAK

Crane hook (kait) merupakan salah satu komponen utama pada *crane* yang berfungsi untuk sebagai penghubung antara *crane* dan muatan yang akan di angkat dan di pindahkan. Saat beroperasi, kait pernah ditemukan kegagalan kerja berupa patah pada bagian lengkungan kait.

Melakukan analisa kekuatan pada struktur *crane hook* (kait) merupakan suatu solusi agar terhindar dari kegagalan kerja sehingga struktur *crane hook* (kait) tetap dalam keadaan aman. Dalam proses analisa kekuatan *crane hook* (kait) dapat menggunakan *software* elemen hingga yang dapat menghitung lebih cepat dan akurat. Pada penelitian ini melakukan simulasi pada kerja beberapa jenis *crane hook* (kait) yaitu kait tunggal, kait tanduk ganda dan *shackle*.

Pada hasil simulasi *software* elemen hingga pada kait untuk pembebanan 20 ton, jenis kait tunggal diperoleh tegangan normal maksimum sebesar 277,31 MPa dan defleksi yang terjadi sebesar 1,1985 mm, pada jenis kait tanduk ganda diperoleh tegangan normal maksimum sebesar 142,28 MPa dan dengan besar defleksi yang terjadi sebesar 0,11031 mm dan pada jenis *shackle* diperoleh data tegangan normal maksimum sebesar 172, 64 MPa dan defleksi sebesar 0,19418 mm. Dari hasil simulasi kemudian akan dibandingkan dengan hasil perhitungan secara analitik. Perhitungan analitik untuk kait tunggal diperoleh tegangan kerja sebesar 269,28 MPa, pada kait tanduk ganda sebesar 136, 83 MPa dan pada jenis *shackle* sebesar 152 MPa.

Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan analitik dapat diambil kesimpulan bahwa struktur *crane hook* (kait) masih dalam batas aman. Hal ini dikarenakan kekuatan luluh material yang digunakan pada jenis AISI 4140 *alloy steel* sebesar 415 MPa. Namun dari ke tiga jenis kait pada pembebanan 20 ton, kait tunggal memiliki potensi kegagalan paling besar

Kata Kunci : kait, kekuatan, metode elemen hingga.

ABSTRACT

Crane hook is one of the main components on a crane which connects crane and the capacity moved. When being operated, it is ever found that there is failure in working, such as the curve of the hook breaks.

Analyzing on the strength of the structure of crane hook is one of the solutions to avoid the failure work, so the structure of crane hook is safe. In the process of analyzing of crane hook, it can be used finite element software, that can calculate more accurate and faster. In this research, the researcher did simulation on the work of some crane hooks, they were single hook, double hook and shackle.

The result of the simulation of finite element software on the hook for 20 tons showed that, (1) Single hook got maximum principal stress on 279,06 MPa and the deflection was 1,1964 mm, (2) double hook got maximum principal stress on 137,66 MPa and the deflection was 0,11173 mm, (3) while shackle got maximum principal stress on 172,64MPa and the deflection was 0,19418 mm. These result was compared by the result of analytic calculation. The result of analytic calculation was that single hook got maximum principal stress on 269,28 MPa, double hook got 136,83 MPa and shackle got 152 MPa.

Based on the result of simulation and the analytic calculation, it can be summarized that the structure of crane hook was still safe. It was caused by yield strength of the material of AISI 4140 alloy steel which was 415 MPa. However, among the three kind of the crane hooks for 20 tons capacity, single hook had the biggest failure potential.

Keyword : crane hook, strength, finite element method

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN SOAL TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penulisan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat Penulisan	2
1.6. Sistematika Penulisan	3
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Perlengkapan Penanganan Barang	4
2.2. <i>Crane</i>	5
2.3. Kait (<i>Crane Hook</i>)	8
2.4. Analisa Beban	13
2.5. Prinsip Keseimbangan Benda Tegar	14
2.6. Analisa Tegangan dan Regangan	15
2.7. Jenis-Jenis Tegangan	16
2.8. Teori Kegagalan Struktur	20
2.9. Faktor-Faktor Rancangan	24
2.10. Metode Elemen Hingga	25
2.11. Penelitian Terdahulu	28
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Penelitian	29
3.2. Diagram Alir Penyelesaian Elemen Hingga	30
3.3. Prosedur Analisa	31
3.3.1 Studi Lapangan dan Studi Literatur	31
3.3.2. Data Spesifikasi <i>Crane hook</i>	31
3.3.3. Material <i>Crane hook</i>	31
3.3.4 Prosedur Penyelesaian Perangkat Lunak Elemen Hingga	32
 BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil	39
4.1.1. Hasil Simulasi <i>Software</i> Elemen Hingga	39
4.1.2. Hasil Perhitungan Analitik	48
4.2. Kurva Perbandingan	52

4.3. Pembahasan.....	54
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	56
5.2. Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	59
RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jenis-jenis utama perlengkapan penanganan bahan	4
Gambar 2.2 Jenis Utama Pada <i>Crane</i>	6
Gambar 2.3 <i>Truck Crane</i>	7
Gambar 2.4 Kait tunggal.	8
Gambar 2.5 Kait ganda.....	10
Gambar 2.6 <i>Shackles</i>	12
Gambar 2.7 Beban terpusat	14
Gambar 2.8 Beban terdistribusi.....	14
Gambar 2.9 Tegangan normal	17
Gambar 2.10 Tegangan tarik	17
Gambar 2.11 Tegangan tekan	18
Gambar 2.12 Tegangan geser pada balok berpenampang empat persegi panjang	18
Gambar 2.13 Tegangan lentur pada <i>S-beam</i>	19
Gambar 2.14 Tegangan puntir pada batang bundar.....	19
Gambar 2.15 Representasi teori tegangan normal maksimum.....	22
Gambar 2.16 Representasi teori tegangan geser maksimum.....	22
Gambar 2.17 Grafik representasi teori tegangan distorsi energi.	23
Gambar 2.18 Grafik perbandingan teori distorsi dengan teori tegangan normal maksimum dan tegangan geser maksimum.....	24
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.	29
Gambar 3.2 Diagram alir elemen hingga.	30
Gambar 3.3 Tampilan awal <i>Autodesk Autocad 2012</i>	32
Gambar 3.4 Geometri <i>crane hook</i> yang dibuat pada <i>Autocad 2012</i>	33
Gambar 3.5 <i>Meshing</i> pada kait tunggal.....	34
Gambar 3.6 <i>Meshing</i> pada kait tanduk ganda	34
Gambar 3.7 <i>Meshing</i> pada <i>shackle</i>	35
Gambar 3.8 Kondisi batas pada kait tunggal.....	36
Gambar 3.9 Kondisi batas pada tanduk ganda	36
Gambar 3.10 Kondisi batas pada <i>shackle</i>	36
Gambar 3.11 Proses <i>Solving</i> pada kait tunggal	37
Gambar 3.12 Proses <i>Solving</i> pada kait tanduk ganda.....	37
Gambar 3.13 Proses <i>Solving</i> pada <i>shackle</i>	38
Gambar 4.1 Hasil tegangan normal maksimum (<i>Maximum Principal Stress</i>) kait tunggal	40
Gambar 4.2 Daerah kritis pada kait tunggal.....	40
Gambar 4.3 Hasil tegangan normal maksimum (<i>Maximum Principal Stress</i>) kait tanduk ganda.....	41
Gambar 4.4 Daerah kritis pada kait tanduk ganda	42
Gambar 4.5 Hasil tegangan normal maksimum (<i>Maximum Principal Stress</i>) <i>shackle</i>	42
Gambar 4.6 Daerah kritis pada <i>shackle</i>	43
Gambar 4.7 Hasil defleksi yang terjadi pada struktur kait tunggal	44
Gambar 4.8 Hasil defleksi yang terjadi pada struktur kait tanduk ganda.....	45
Gambar 4.9 Hasil defleksi yang terjadi pada struktur kait mata segitiga.....	45

Gambar 4.10 Dimensi Kait Tunggal	48
Gambar 4.11 Dimensi Kait Tanduk ganda	49
Gambar 4.12 Diagram benda bebas	50
Gambar 4.13 Potongan arah x	50
Gambar 4.14 <i>Grafik</i> perbandingan nilai tegangan maksimum (<i>maximum Principal Stress</i>)	52
Gambar 4.15 <i>Grafik</i> perbandingan nilai <i>safety factor</i>	53
Gambar 4.16 <i>Grafik</i> perbandingan nilai defleksi yang terjadi	54

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Jenis-jenis tumpuan	15
Tabel 2 Modus Kegagalan Komponen	20
Tabel 3 Data material <i>crane hook</i>	31
Tabel 4 Perbandingan nilai tegangan	55

DAFTAR SIMBOL

A	: Luas penampang (m^2)
A_s	: Luas bidang geser (m^2)
P	: Gaya (N)
P_s	: Gaya geser (N)
σ	: Tegangan (N/m^2) (MPa)
σ_s	: Tegangan geser (N/m^2) (MPa)
$\sigma_{rata-rata}$: Tegangan normal rata-rata (N/m^2) (MPa)
σ_{max}	: Tegangan normal maksimum (N/m^2) (MPa)
σ_{ut}	: Tegangan <i>ultimate</i> dalam keadaan tarik (N/m^2) (MPa)
σ_{uc}	: Tegangan <i>ultimate</i> dalam keadaan tekan (N/m^2) (MPa)
σ_{yp}	: Tegangan <i>yield strength</i> (N/m^2) (MPa)
τ_{max}	: Tegangan geser maksimum (N/m^2) (MPa)
ϵ	: Regangan
Δl	: Selisih perpindahan (m)
L	: Panjang mula-mula (m)
E	: Modulus elastisitas (MPa)
F_s	: <i>Safety factor</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi sekarang telah banyak menghasilkan kreasi yang bertujuan untuk memudahkan pekerjaan manusia, serta dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi. Terutama untuk bagian konstruksi dan industri yang dikenal suatu alat yang dinamakan dengan *crane*. *Crane* sangat dibutuhkan untuk mengangkat serta memindahkan suatu barang dari satu tempat ke tempat lainnya. *Crane* adalah gabungan mekanisme pengangkat secara terpisah dengan rangka untuk mengangkat atau sekaligus mengangkat dan memindahkan muatan yang dapat digantungkan secara bebas atau diikatkan pada *crane*.^[1]

Crane memiliki komponen utama yang disebut dengan *crane hook* (kait) di mana komponen ini berfungsi sebagai pengait yang menghubungkan beban pada crane. Ada beberapa jenis kait yaitu kait standar (tunggal), kait tanduk ganda dan *shackles*. Jenis-jenis kait tersebut dapat di desain dengan menggunakan *software* elemen hingga.

Sekarang telah banyak dikembangkan ilmu rekayasa dalam bidang ilmu elemen hingga yang menyatukan ilmu matematika, teknik dan komputer sehingga menghasilkan *software* seperti *Autodesk Autocad*, *Autodesk Inventor* dan *Ansys*. Dari *software* ini dapat di desain bentuk kait sehingga sesuai dengan kapasitas angkat dan beban yang diberikan, dikarenakan kait harus dirancang dengan memperhitungkan secara detail dari segi fungsi, material, bentuk dan faktor keamanannya. Kait yang dirancang secara tidak benar akan berbahaya saat penggunaannya, sehingga perlu dilakukannya simulasi menggunakan *software* elemen hingga agar konstruksi yang dibuat pada kait tidak mengalami kegagalan.

Dari fenomena yang muncul berdasarkan simulasi *software* elemen hingga, penulis termotivasi untuk melakukan penelitian tentang tegangan yang bekerja pada kait tunggal, kait tanduk ganda dan *shackle*, sehingga dari penelitian ini diperoleh data-data tegangan yang bekerja pada berbagai jenis *crane hook* (kait) agar dapat terhindar dari kegagalan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

- 1 Membandingkan tegangan-tegangan yang bekerja pada tiga jenis *crane hook* (kait) dengan menggunakan *software* elemen hingga dan dengan perhitungan analitik.
- 2 Membandingkan nilai defleksi pada tiga jenis *crane hook* (kait) dengan menggunakan *software* elemen hingga.

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk dapat membandingkan dan menganalisa tegangan yang bekerja pada tiga jenis kait (*crane hook*).
2. Untuk dapat membandingkan dan menganalisa defleksi yang terjadi dari tiga jenis kait (*crane hook*).

1.4 Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi pada :

1. Hanya membandingkan dan menganalisa tegangan yang bekerja pada tiga jenis *crane hook* (kait). Ketiga jenis *crane hook* (kait) tersebut adalah kait tunggal, kait tanduk ganda dan *shackles*.
2. Beban dan tumpuan yang diberikan pada ketiga jenis *crane hook* adalah sama yaitu masing-masing sebesar 20 Ton atau 196200 N dan tumpuan yang diberikan adalah jepit atau *fix support*.
3. Material ketiga jenis *crane hook* adalah AISI 4140 *alloy steel*.
4. Tegangan puntir yang bekerja pada kait diabaikan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai tegangan yang bekerja dan defleksi yang terjadi pada tiga jenis kait (*crane hook*) apabila diberikan pembebanan yang sama.
2. Dapat memilih jenis kait yang akan digunakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan terdiri dari beberapa bab yaitu BAB I PENDAHULUAN menjelaskan laporan penelitian ini secara umum yang berisi : latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat dan sistematika penulisan, BAB II TINJAUAN PUSTAKA berisi tentang landasan teori dan studi literatur yang berkaitan dengan pokok permasalahan, BAB III METODOLOGI PENELITIAN berisi tentang diagram alir proses penelitian, diagram alir proses penyelesaian elemen hingga, data spesifikasi dan material *crane hook* serta prosedur penyelesaian perangkat lunak elemen hingga, BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN berisikan hasil simulasi *crane hook* (kait) dengan menggunakan *software* elemen hingga, hasil tegangan maksimum dengan perhitungan manual, grafik perbandingan dan pembahasan, BAB V PENUTUP berisikan kesimpulan dan saran.

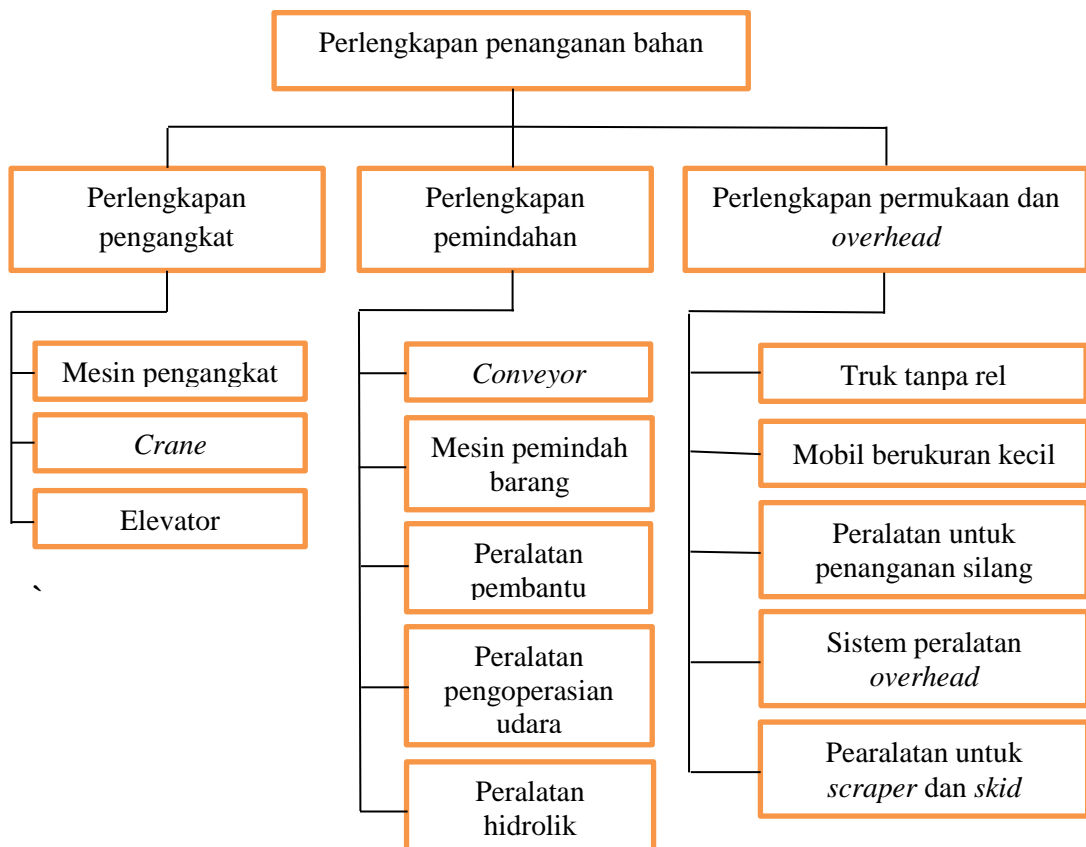
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perlengkapan Penanganan Barang

Pada setiap perusahaan yang bergerak dalam bidang konstruksi ataupun produksi harus memiliki fasilitas *transport* yang baik untuk menunjang dalam proses pengangkutan dan memindahkan muatan, agar bertujuan untuk dapat meningkatkan kualitas dan kuantitasnya, sehingga diperlukannya perlengkapan-perengkapan untuk penanganan bahan.

Setiap kelompok mesin yang bertugas untuk menangani barang dapat dibedakan berdasarkan penggunaannya, keadaan muatan yang ditanganinya, arah gerakan kerja dan keadaan proses penanganannya. Pengelompokan penanganan bahan dapat dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan desainnya yang dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jenis-jenis utama perlengkapan penanganan bahan^[1]

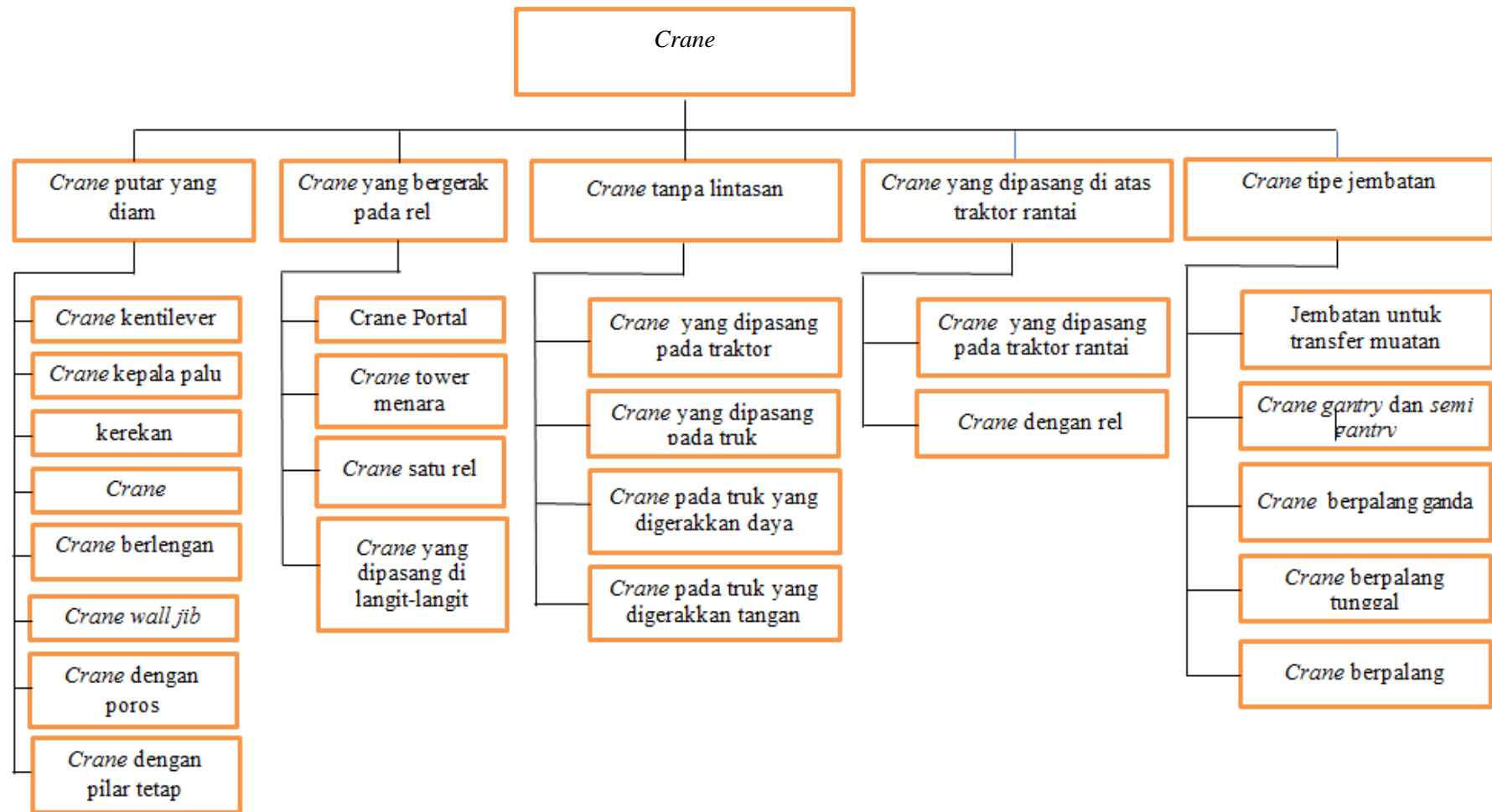
Kelompok perlengkapan untuk penanganan bahan terbagi atas tiga kelompok yaitu :^[1]

1. Perlengkapan pengangkat adalah kelompok mesin yang bertujuan untuk mengangkat dan memindahkan muatan yang biasanya dalam satu bac (*batch*) dengan menggunakan peralatan pengangkatnya. Peralatan pengangkat terbagi atas beberapa jenis yaitu :
 - A. Mesin pengangkat adalah mesin yang bekerja secara periodik yang didesain untuk mengangkat dan memindahkan muatan.
 - B. *Crane* adalah gabungan mekanisme pengangkat yang secara terpisah dengan rangka untuk mengangkat atau sekaligus mengangkat dan memindahkan muatan yang digantung secara bebas atau diikat pada *crane*.
 - C. Elevator adalah kelompok mesin yang bekerja secara periodik untuk mengangkat muatan pada jalur pandu tertentu.
2. Perlengkapan pemindah adalah kelompok mesin yang bertujuan untuk memindahkan muatan dari satu tempat ke tempat lain secara berkesinambungan tanpa dilengkapi dengan peralatan mengangkat.
3. Perlengkapan permukaan dan *overhead* adalah kelompok mesin yang juga bertujuan untuk memindahkan muatan tanpa memiliki peralatan mengangkat tetapi menangani muatan yang dipindahkan biasanya dalam satu bac (*batch*).

2.2 Crane

Crane adalah alat yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan muatan dari satu tempat ke tempat lain dengan menggunakan metode katrol dan kait (*hook*) sebagai pengaitnya. *Crane* sendiri banyak digunakan seperti pada bongkar muatan kapal-kapal di pelabuhan dan lainnya.

Crane dapat diklasifikasikan kedalam beberapa jenis yaitu *crane* putar yang diam, *crane* yang bergerak pada rel, *crane* tanpa lintasan, *crane* yang dipasang pada lokomotif atau traktor rantai dan *crane* jembatan Jenis-jenis utama pada *crane* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. jenis utama pada crane^[1]

Kelompok *crane* putar yang diam di tempat (Lampiran 1), umumnya merupakan *crane* tetap dengan tiang yang miring dan dapat berputar.

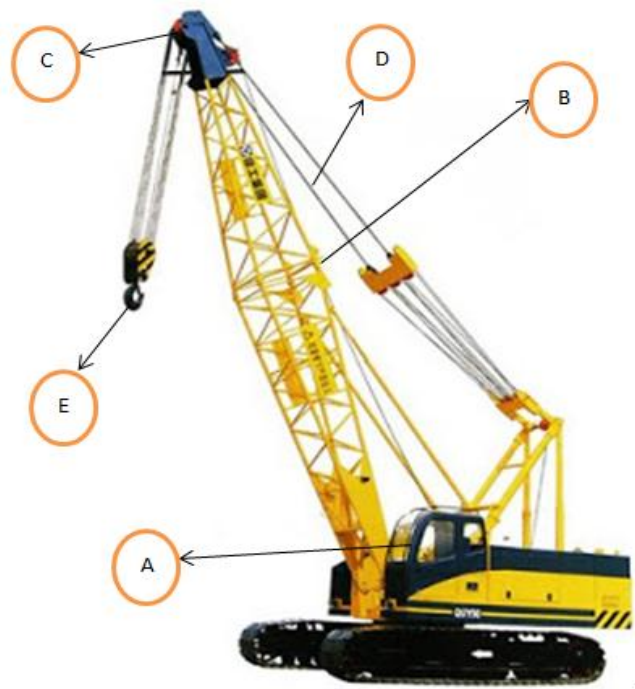
Kelompok *crane* yang bergerak pada rel (Lampiran 1) biasanya terdiri dari kantilever dan monorel yang bergerak lurus pada satu jalur.

Kelompok *crane* tanpa lintasan (Lampiran 1) terdiri atas *crane* tiang yang dipasang pada truk, mobil atau traktor agar dapat bergerak bebas tanpa lintasan tertentu.

Kelompok *crane* yang diletakkan di atas lokomotif (Lampiran 1) termasuk *crane* tiang yang lebih kuat dan bergerak pada jalur rel serta di dalam daerah gudang.

Kelompok *crane* jenis jembatan (Lampiran 1) terdiri atas *crane* yang berjalan pada jembatan gelagar-rangka dan dapat bergerak pada jalur rel yang dibuat pada dinding bangunan atau permukaan tanah. Khusus untuk rel yang dibentang pada permukaan tanah, jembatannya harus dilengkapi dengan kaki pendukung yang tinggi, yang dipasang pada kedua sisi jembatan.

Adapun *crane* memiliki beberapa bagian utama yang berfungsi untuk membantu dalam proses mengangkat dan memindahkan muatannya. Bagian-bagian utama pada *crane* dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Truck Crane ^[2]

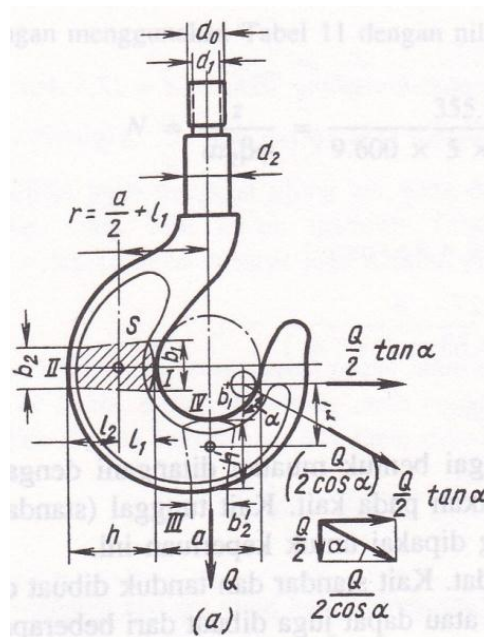
Keterangan :

- A. Kabin Operator adalah ruangan untuk operator *crane* bekerja, dimana ruangan ini berfungsi sebagai tempat mengatur truck *crane* dan *crane* itu sendiri.
- B. *Boom* (lengan) *crane* adalah lengan yang berfungsi untuk menjangkau muatan yang akan di angkat dan dipindahkan.
- C. Sistem *pulley* (*sheave*) adalah suatu lempengan yang berfungsi untuk mentransmisikan daya berupa putaran melalui tali pada *crane*.
- D. Tali adalah komponen *crane* yang berfungsi untuk menahan dan menggerakkan lengan *crane*. Tali ini biasanya terbuat dari baja yang disusun menjalin.
- E. *Crane hook* (Kait) adalah komponen yang berfungsi sebagai penghubung antara *crane* dan muatannya.

2.3 Kait (*Crane Hook*)

Untuk mengangkat muatannya, *crane* menggunakan anduh (sling) rantai atau tali yang diikatkan pada kait (*crane hook*). Ada beberapa jenis kait yang digunakan untuk mengangkut yaitu :^[1]

- A. Kait Tunggal (standar),



Gambar 2.4 Kait tunggal ^[1]

Kait jenis ini adalah yang paling banyak digunakan. Untuk menghitung tegangan tariknya apabila pada keadaan $a = h$, dan bila $\frac{a}{h} = 1$ dan $\frac{b_1}{b_2} = n$, maka rumus yang digunakan adalah :

$$x = \frac{5n+7}{3(n+1)^2} [(1,5n - 0,5)1,09861 - (n - 1)] - 1 \quad (2.1)$$

Maka

$$e_1 = \frac{n+2}{n+1} \frac{h}{3} \quad (2.2)$$

Momen lentur M diasumsikan bernilai positif bila menyebabkan kelengkungan kait bertambah (jari-jarinya berkurang) dan bernilai negatif apabila kelengkungannya berkurang. Karena beban cenderung untuk membuka kait, momennya bernilai negatif.

$$M = -Qr = -Q (0,5a + e_1) \quad (2.3)$$

Tegangan tarik maksimum pada bagian terdalam pada penampang tersebut ialah :

$$\sigma_1 = \frac{Q}{F} \frac{1}{x} \frac{2e_1}{a} < \sigma_{aman} \quad (2.4)$$

Tegangan tekan satuan maksimum pada bagian terluar didapatkan dengan cara yang sama.

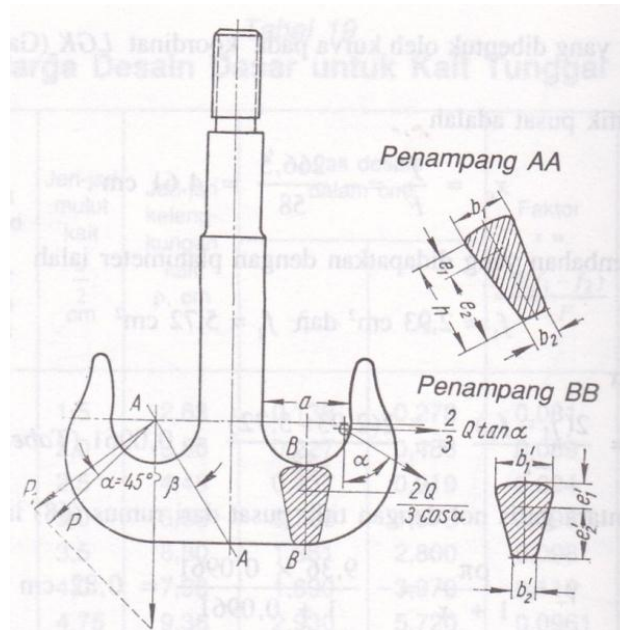
$$\sigma_{II} = \frac{Q}{F} \frac{1}{x} \frac{e_2}{\frac{a}{2} + h} < \sigma_{aman} \quad (2.5)$$

Dengan :

- σ = tegangan tarik maksimum (Pa)
- Q = beban pada kait (N)
- F = luas penampang kritis (m^2)
- e_1 = jarak bagian terdalam dengan garis nol (m)
- a = lingkaran luar (m)
- x = faktor yang tergantung dari bentuk penampang dan kelengkungan kait netral; jarak dari pusat kelengkungan ke sumbu netral akan bernilai negatif bila bagian itu terletak di antara pusat kelengkungan dan sumbu netral dan bernilai positif bila terletak pada bagian lain sumbu netral

B. Kait tanduk ganda

Kait tanduk ganda didesain dengan dudukan yang lebih kecil daripada kait tunggal dengan kapasitas angkat yang sama. Dimensi pada bagian tangkai polos dan berulir hampir sama dengan kait tunggal dan bagian yang berulir diperiksa dengan metode perhitungan yang sama.



Gambar 2.5 Kait tanduk ganda ^[1]

Cara menghitung gaya normal pada penampang I-II adalah :

$$P_I = \frac{2Q \sin (\alpha + \beta)}{3 \cos \alpha} \quad (2.6)$$

Dengan :

β = sudut kemiringan penampang tersebut terhadap vertikal.

Dengan mengabaikan gaya geser, tegangan satuan pada bagian yang paling luar dan dalam akan menjadi :

$$\sigma_I = \frac{P_1}{F} \frac{1}{x} \frac{2e_1}{a} \quad (2.7)$$

$$\sigma_{II} = -\frac{P_1}{F} \frac{1}{x} \frac{e_2}{e_1 + e_2 + \frac{a}{\gamma}} \quad (2.8)$$

Dengan :

a = diameter kait

e_1 dan e_2 = jarak antara garis netral dengan bagian terluar dan terdalam.

F = luas penampang daerah kritis

Tegangan utama maksimum dapat ditentukan dengan cara :

$$P_t = \frac{Q}{2} \cos \beta \quad (2.9)$$

$$P_{sh} = \frac{Q}{2} \sin \beta \quad (2.10)$$

$$\sigma_1 = \frac{P_t}{F} \quad (2.11)$$

$$\tau_{sh} = \frac{P_{sh}}{F} \quad (2.12)$$

Tegangan lentur σ_{lentur} yang timbul dari momen adalah :

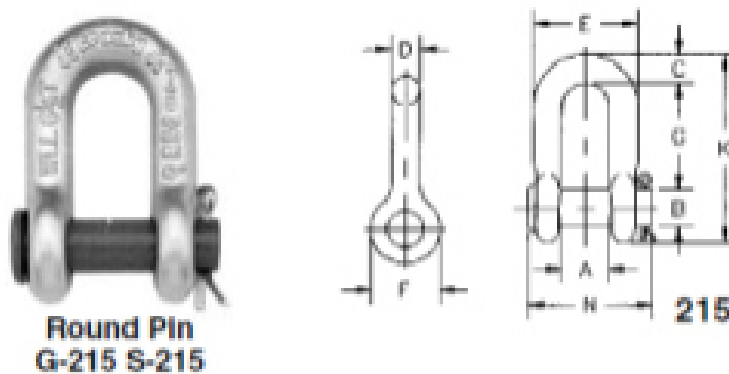
$$M_{lentur} = -P_t \left(\frac{a + d}{2} \right) \quad (2.13)$$

Akibatnya

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{(\sigma_1 + \sigma_{lentur})^2 + 3\tau^2} \quad (2.14)$$

C. Shackles

Shackle merupakan alat bantu pengait antara mata sling dengan pengait objek tertentu. *Shackle* biasanya terbuat dari bahan *steel*. Ada beberapa keuntungan menggunakan *shackle* adalah kita bisa menggunakan satu sling untuk beberapa objek yang akan diangkat atau dipindahkan sebab *shackle* sangat mudah untuk dibuka dan dipasang kembali.



Gambar 2.6 shackles^[3]

Ada beberapa jenis *shackle* yang digunakan yaitu :

A. G-213 & S-213

Shackle ini berbentuk ladam kuda dengan PIN menggunakan pengaman, biasanya kapasitas jenis *shackle* ini tersedia dari 1/2 tons sampai dengan 35 tons.

B. G-209 & S-209

Shackle jenis ini berbentuk ladam kuda dan PIN sama seperti G-213 tetapi jenis ini menggunakan *screw* dan kapasitas biasanya tersedia dari 1/3 tons sampai dengan 55 tons.

C. G-215 & S-215

Shackle ini bentuknya hampir sama dengan G-213 namun bentuk *body* membentuk huruf U, kapasitas biasanya tersedia dari 1/2 tons sampai dengan 35 tons.

D. G-210 & S-210

Shackle jenis ini hampir sama dengan *shackle* jenis G-209 namun *body* berbentuk huruf U, biasanya kapasitas tersedia dari 1/3 tons sampai dengan 55 ton.

E. G-2130 & S-2130

Shackle berbentuk ladam kuda dan PIN menggunakan *bolt type* lengkap dengan pengamannya, kapasitas jenis *shackle* ini biasanya tersedia dari 1/3 tons sampai dengan 150 ton.

F. G-2150 & S-2150

Shackle ini sama dengan G-2130 namun berbentuk huruf U, kapasitas angkatnya biasanya tersedia dari 1/2 tons sampai dengan 85 ton.

G. G-2140 & S-2140

Shackle ini memiliki bentuk seperti ladam kuda, kapasitas biasanya tersedia dari 30 tons sampai dengan 600 ton.

H. G-2160

Shackle ini tersedia dari 30 tons sampai dengan 1250 ton.

2.4 Analisa Beban

Setiap material pasti memiliki beban, dimana beban merupakan salah satu sifat fisik dari material. Sifat fisik dari material ini akan menimbulkan suatu gaya atau berat dari material tersebut. Beban dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu beban operasional, beban dari alam atau lingkungan dan beban *sustain* (beban dari material itu sendiri). Beban operasional adalah beban yang timbul akibat adanya gerakan dan operasi dari material tersebut, seperti beban yang timbul akibat putaran yang akan menghasilkan torsi dan lain-lain. Beban dari alam/lingkungan adalah beban yang diterima oleh suatu material akibat kondisi alam/lingkungan sekitar, seperti beban yang diberikan akibat angin, gempa dan lainnya. Sedangkan beban *sustain* adalah beban yang timbul akibat berat yang ditimbulkan oleh material itu sendiri. ^[4]

Beban dapat dibagi atas beberapa jenis berdasarkan daerah pembebanannya, yaitu : ^[4]

1. Beban terpusat

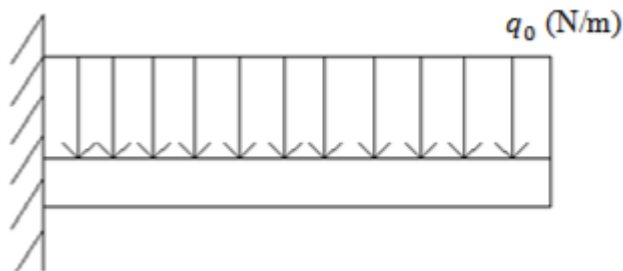
Pembebanan yang diberikan secara terpusat dan berada pada satu titik dari suatu material. Beban terpusat ini daerah pembebanannya sangat kecil dibandingkan dengan beban terdistribusi, contoh beban terpusat dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Beban terpusat

2. Beban terdistribusi

Beban terdistribusi adalah jenis pembebanan yang daerah beban yang diberikan secara merata pada seluruh bagian batang, contoh beban terdistribusi dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Beban terdistribusi

Ada juga jenis pembebanan yang diklasifikasikan berdasarkan sistem kerjanya, yaitu sebagai berikut :

1. Pembebanan dinamik

Pembebanan secara dinamik adalah jenis pembebanan yang dipengaruhi oleh fungsi waktu. Besarnya pembebanan dinamik ini tidak tetap.

2. Pembebanan statik

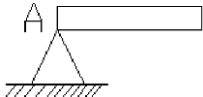
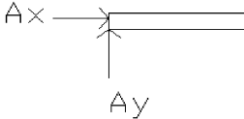
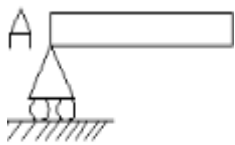
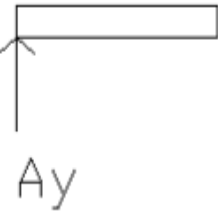
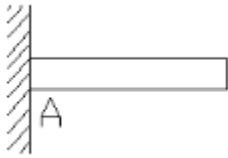
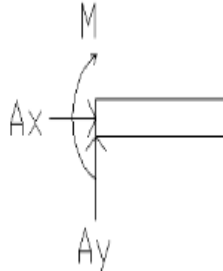
Pembebanan secara statik adalah jenis pembebanan yang tidak dipengaruhi oleh waktu, besarnya beban yang diberikan adalah konstan.

2.5 Prinsip Keseimbangan Benda Tegar

Pada dasarnya prinsip suatu struktur harus memiliki keseimbangan gaya, hal ini diperlukan agar suatu struktur itu dapat bekerja sesuai fungsinya dalam

menahan ataupun menompa beban. Prinsip dasar ini dilihat dari tumpuan pada struktur yang digunakan. Jenis tumpuan ini akan menimbulkan reaksi gaya dengan arah yang berbeda-beda. Berikut macam-macam jenis tumpuan : ^[4]

Tabel 1. Jenis-Jenis Tumpuan : ^[4]

Jenis Tumpuan	Simbol	Reaksi Gaya	Keterangan
Tumpuan engsel			Terdapat dua gaya yaitu gaya searah bidang tumpuan dan gaya tegak lurus bidang tumpuan
Tumpuan rol			Terdapat satu gaya yaitu gaya tegak lurus bidang tumpuan
Tumpuan jepit			Terdapat tiga gaya yaitu gaya searah bidang tumpuan, gaya tegak lurus bidang tumpuan, dan momen

Hal yang harus diperhatikan pada dalam membuat suatu struktur adalah hukum kesetimbangan gaya, yaitu :

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum M = 0 \quad (2.15)$$

2.6 Analisa Tegangan Dan regangan

Untuk menganalisa suatu struktur harus memperhatikan tegangan, regangan dan deformasi yang terjadi. Tegangan adalah gaya persatuan luas dan juga dapat didefinisikan sebagai berikut : ^[5]

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.16)$$

Dimana : σ = tegangan (N/m²)

P = gaya (N)

A = luas penampang (m²)

Regangan adalah perbandingan deformasi total terhadap panjang mula-mula suatu struktur. Regangan juga dapat didefinisikan sebagai berikut :^[5]

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.17)$$

Dimana :

ε = regangan

δ = defleksi yang terjadi (mm)

L = panjang mula-mula sutau struktur (mm)

Sedangkan untuk elastisitas yang dijelaskan pada hukum Hooke adalah :^[5]

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (2.18)$$

Dimana :

σ = tegangan (Pa)

ε = regangan

E = modulus elastisitas (Pa)

Dari hukum Hooke dijelaskan bahwa transisi dari elatisitas menuju plastis dinamakan kekuatan luluh (*yield strength*). jika diberikan penambahan beban diatas batas kekuatan luluhnya maka struktur tersebut akan bersifat patah.

2.7 Jenis-Jenis Tegangan

Tegangan pada umumnya terbagi menjadi dua kelompok yaitu :

1. Tegangan Normal

Tegangan yang arah kerjanya dalam arah tegak lurus permukaan terpotong batang. Tegangan normal dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu :

A. Gaya Normal

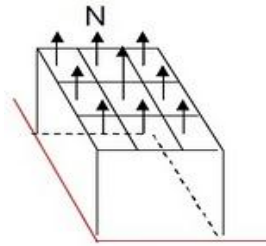
Tegangan normal terjadi akibat adanya reaksi yang diberikan pada benda. Jika gaya dalam diukur dalam N, sedangkan luas penampang dalam m², maka satuan tegangan adalah N/m².

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} = (N/m^2) \quad (2.19)$$

Dimana : σ_n = tegangan normal(N/m²)

F_n = gaya normal (N)

A = luas penampang (m^2)



Gambar 2.9 Tegangan normal^[6]

B. Beban Tarik dan Tekan

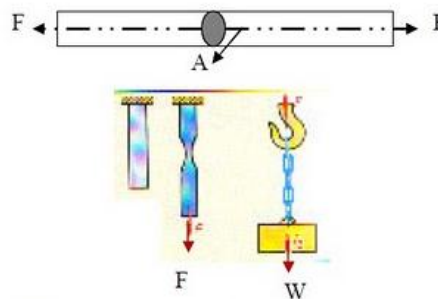
Apabila batang ditarik oleh gaya F seperti pada gambar 2.10 maka tegangan yang terjadi adalah tegangan tarik. Tegangan tarik dapat ditulis dengan persamaan :

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} = (N/m^2) \quad (2.20)$$

Dimana : σ_t = tegangan tarik (N/m^2)

F_t = gaya tarik (N)

A = luas penampang (m^2)



Gambar 2.10 Tegangan tarik^[6]

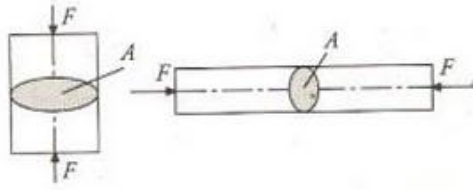
Sedangkan tegangan tekan terjadi bila suatu batang diberi gaya F yang saling berlawanan dan terletak dalam satu garis gaya. Tegangan tekan dapat ditulis:^[6]

$$\sigma_D = \frac{F_D}{A} = (N/m^2) \quad (2.21)$$

Dimana : σ_D = tegangan tekan (N/m^2)

F_D = gaya tekan (N)

A = luas penampang (m^2)

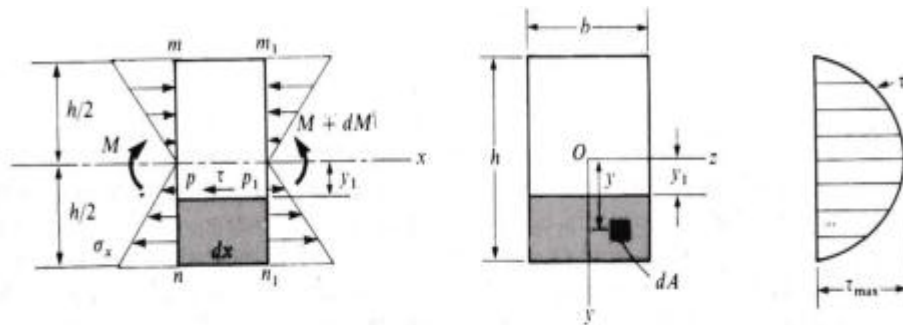


Gambar 2.11 Tegangan tekan^[6]

2. Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, sejajar sumbu batang. Tegangan geser dapat disebabkan karena adanya beberapa pembebanan seperti :

A. Gaya Geser



Gambar 2.12 Tegangan geser pada balok berpenampang empat persegi panjang^[5]

Untuk menentukan tegangan geser τ pada sebarang titik dalam penampang dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \quad (2.22)$$

Dimana : τ = tegangan geser (N/m^2)

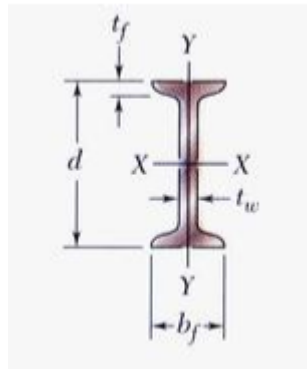
V = gaya geser (N)

Q = momen (m^3)

I = momen inersia (m^4)

b = lebar penampang (m)

B. Momen Lentur



Gambar 2.13 Tegangan lentur pada S-beam^[5]

Gaya geser dan momen lentur tersebut akan menyebabkan tegangan geser dan tegangan lentur. Besaran tegangan akibat lenturan pada balok dapat ditulis dengan formula sebagai berikut.^[5]

$$\sigma = M.y/I \quad (2.23)$$

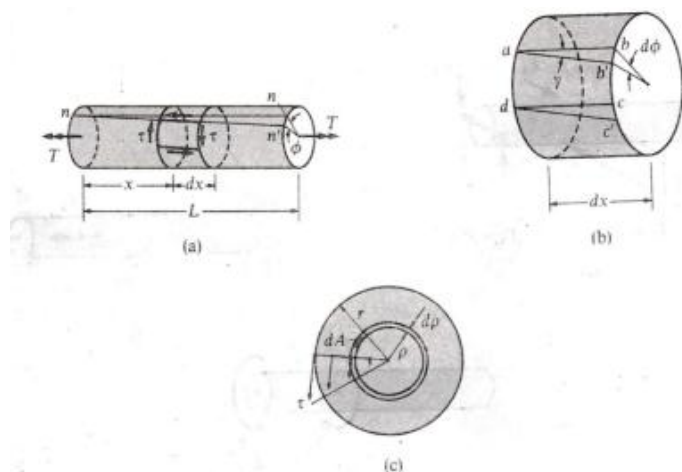
Dimana : σ = tegangan lentur (N/m²)

M = momen lentur (N.m)

Y = jarak terjauh dari sumbu (m)

I = momen inersia (m⁴)

C. Beban Puntir/Torsi



Gambar 2.14 Tegangan puntir pada batang bundar^[5]

Torsi yang bekerja pada poros akan menghasilkan tegangan geser. Untuk mendapatkan tegangan puntir dapat menggunakan persamaan berikut :

$$t = \frac{Tr}{J} \quad (2.24)$$

Dimana : t = tegangan puntir
 T = momen puntir/torsi
 r = jari - jari (m)
 J = momen inersia (m⁴)

2.8 Teori Kegagalan Struktur

Analisa kegagalan adalah suatu kegiatan yang bertujuan untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan. Secara keseluruhan jenis kegagalan pada material dapat terbentuk seperti *fatigue*, *wear* (keausan), korosi, *fracture*, *impact* dan lainnya. Dan kegagalan dapat terjadi karena beberapa faktor yaitu beban statik dan beban mekanis, sehingga sering timbulnya tegangan akibat beban yang melebihi *yield strength*. Pada dasarnya kegagalan dapat terjadi dikarenakan **besaran akibat kondisi operasi** \geq **sifat kritis material**.

Tabel 2. Modus Kegagalan Komponen

Besaran Akibat Kondisi Operasi	Sifat Kritis Material	Peristiwa Yang Akan Terjadi
Tegangan kerja σ_w	Kekuatan luluh σ_y	Deformasi plastis
Tegangan kerja σ_w	Kekuatan tarik σ_u	Patah statik
Tegangan amplitudo σ_a	Batas lelah (Fatigue limit) σ_f	Patah lelah
Tegangan dinamik lokal $\sigma' = K_t \cdot \sigma_{nom}$	Kekuatan luluh σ_y	Awal retak <i>fatigue</i>
Intensitas tegangan $K = \beta \cdot \sigma \sqrt{\pi a}$	Fracture <i>toughness</i> K_c atau K_{Ic}	Komponen yang retak lelah akan patah
Tegangan kerja σ_w	Batas mulur (<i>Creep limit</i>)	Deformasi plastis akibat <i>creep</i> (pada temp. tinggi)
Tegangan kerja σ_w	Rupture <i>Strength</i>	Patah akibat <i>creep</i> (pada temp. tinggi)
Temperatur lingkungan terlalu rendah	Temperatur transisi material	Patah getas /Penggetasan (<i>Embrittlement</i>)
Lingkungan terlalu korosif	Batas korosivitas	Serangan korosi
Tegangan kerja σ_w	Kekuatan thd korosi tegangan σ_{scc}	Retak akibat korosi tegangan

Pada umumnya teori kegagalan terbagi menjadi tiga yaitu :

1. Kegagalan statik / *static failure*

Kegagalan statik adalah kegagalan yang disebabkan adanya beban dari luar secara statik seperti adanya pengaruh tekanan, beban, momen dan statik lainnya.

2. Kegagalan fatigue / *fatigue failure*

Kegagalan fatigue adalah kegagalan yang terjadi karena dipengaruhi oleh waktu dan juga akibat adanya pembebanan secara dinamik yang menyebabkan suatu struktur menjadi lelah.

3. Kegagalan retak / *fracture failure*

Kegagalan yang terjadi dikarenakan pengaruh lingkungan.

Pada kegagalan secara statik dapat terbagi menjadi tiga teori, yaitu :

A. Teori tegangan normal maksimum

Kegagalan akan terjadi apabila tegangan utama maksimum sama atau lebih besar dibandingkan tegangan normal maksimum. Untuk tegangan normal positif, keadaan suatu material dikatakan luluh jika misal ada suatu pembebanan dengan σ_{max} .

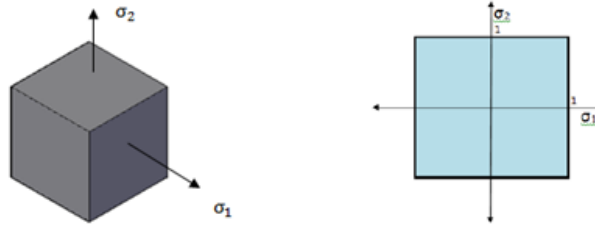
$$\sigma_{max} \geq \sigma_{yp} \quad (2.25)$$

Secara umum teori tegangan normal maksimum adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.26)$$

$$Fs = \frac{\sigma_{yp}}{\sigma_{max}} \quad (2.27)$$

Dari gambar di bawah ini menjelaskan kriteria tegangan normal maksimum. Kegagalan akan terjadi jika kondisi tegangan akibat pembebanan berada diluar batas. Berikut gambar penjelasan teori tegangan normal maksimum :



(a) Tegangan normal pada gambar 3D (b) Tegangan normal dalam 2D

Gambar 2.15 Representasi teori tegangan normal maksimum^[7]

B. Teori tegangan geser maksimum

Teori tegangan geser maksimum sering digunakan pada material yang bersifat ulet. Besarnya nilai tegangan geser maksimum adalah setengah dari nilai tegangan normal maksimum. Keadaan suatu material luluh jika misal ada suatu pembebanan dengan τ_{max} .

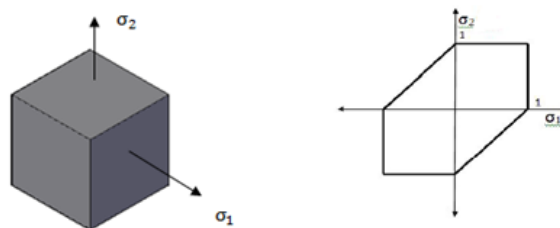
$$\tau_{max} \geq 0,5 \sigma_{yp} \quad (2.28)$$

Secara umum teori tegangan geser maksimum adalah sebagai berikut ^[9]:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.29)$$

$$Fs = \frac{0,5 \times \sigma_{yp}}{\tau_{max}} \quad (2.30)$$

Dari gambar di bawah ini menjelaskan kriteria tegangan geser masimum. Kegagalan akan terjadi jika kondisi tegangan akibat pembebanan berada diluar batas. Berikut gambar penjelasan teori tegangan geser maksimum :



(a) Tegangan normal pada gambar 3D (b) Tegangan normal dalam 2D

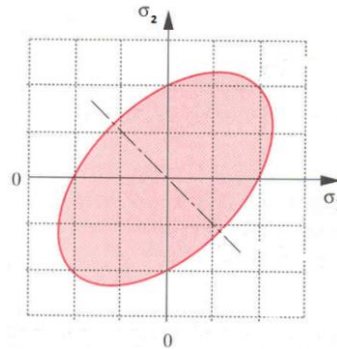
Gambar 2.16 Representasi teori tegangan geser maksimum^[7]

C. Distorsi energi

Aplikasi dari teori tegangan geser maksimum sering digunakan untuk kasus pada material ulet. Keadaan suatu material akan luluh jika adanya suatu pembebanan dengan S .

$$S \geq \sigma_{yp} \quad (2.31)$$

Berikut grafik tegangan distorsi energi dalam 2D:



Gambar 2.17 Grafik representasi teori tegangan distorsi energi ^[7]

Teori distorsi energi dapat menggunakan teoritik sebagai berikut :

$$S^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2 \quad (2.32)$$

atau

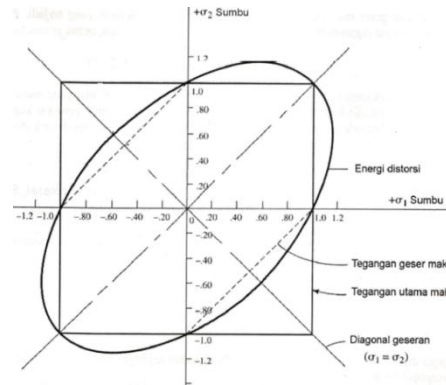
$$S^2 = \sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2$$

$$F_s = \frac{\sigma_{yp}}{S} \quad (2.33)$$

Dimana : $S = \text{Effective stress (MPa)}$

Penggunaan tiga teori kegagalan yang ada, disesuaikan dengan material yang dipakai. Untuk material getas, teori tegangan normal lebih efektif digunakan, sedangkan untuk material ulet teori tegangan geser dan teori distorsi energi lebih efektif digunakan^[7].

Berikut grafik tegangan normal maksimum, tegangan geser maksimum dan distorsi energi dalam satu grafik :



Gambar 2.18 Grafik perbandingan teori distorsi dengan teori tegangan normal maksimum dan tegangan geser maksimum^[7]

2.9 Faktor-Faktor Rancangan

Faktor rancangan dapat disebut dengan, N , merupakan ukuran keamanan relatif komponen pembawa beban. Dalam kebanyakan kasus, kekuatan bahan komponen dibagi menurut faktor rancangan untuk menentukan tegangan regangan, kadang disebut tegangan yang diizinkan.

Perancang harus menentukan berapa nilai faktor rancangan yang wajar untuk situasi tertentu. Sering kali nilai faktor rancangan atau tegangan rancangan ditetapkan dalam aturan-aturan yang dibuat oleh organisasi yang menetapkan standar, seperti *American Society of Mechanical Engineers*, *American Gear Manufacturers Association*, *U.S. Department of Defense*. Adapun beberapa perusahaan-perusahaan yang menerapkan kebijakan mereka sendiri dalam menentukan faktor-faktor rancangan berdasarkan pengalaman masa lalu dengan kondisi yang sama.

Untuk bahan ulet, faktor rancangan harus memiliki kriteria nilai sebagai berikut : ^[8]

1. $N = 1,25$ hingga $2,00$. Perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
2. $N = 2,00$ hingga $2,50$. Perancangan elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data perancangan.
3. $N = 2,50$ hingga $4,00$. Perancangan pada struktur statis atau pada elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan atau lingkungan.

4. $N = 4,00$ atau lebih. Perancangan pada struktur statis atau pada elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan atau lingkungan. Keinginan untuk memberikan keamanan ekstra untuk komponen yang kritis dapat juga memilih nilai-nilai ini.

Sedangkan untuk bahan getas, faktor rancangan harus memiliki kriteria sebagai berikut ini :^[8]

1. $N = 3,00$ hingga $4,00$. Perancangan struktur yang menerima beban secara statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
2. $N = 4,00$ hingga $8,00$. Pada perancangan struktur statis atau pada elemen-elemen mesin yang akan menerima pembebanan secara dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat pada bahan, analisis tegangan atau lingkungan.

2.10 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan berupa persamaan dengan menggunakan rumus integral dalam sistem aljabar linear dan non linear dengan ketelitian yang cukup akurat. Keunggulan dari penggunaan metode elemen hingga adalah elemen – elemen yang terbentuk akan mendekati nilai elemen sebenarnya.

Terdapat dua pendekatan umum dalam metode elemen hingga, yaitu :

1. Metode fleksibilitas. Gaya dalam struktur digunakan sebagai variabel yang harus dicari dalam metode ini. Persamaan keseimbangan digunakan untuk mendapatkan persamaan pengatur. Kemudian persamaan lainnya didapat dengan memberikan syarat kompatibilitas^[9]
2. Metode kekakuan/perpindahan. Perpindahan titik simpul digunakan sebagai variabel yang harus dicari dalam metode ini. Syarat kompatibilitas mengharuskan elemen yang berhubungan akan tetap berhubungan setelah mengalami deformasi.^[9]

Untuk keperluan komputasi, metode kekakuan lebih menguntungkan karena formulasi untuk masalah struktur lebih sederhana daripada fleksibilitas.

Langkah-langkah penyelesaian metode elemen hingga berdasarkan metode kekakuan adalah sebagai berikut ^[9] :

1. Pembagian dan pemilihan jenis elemen

Pada tahapan ini, struktur benda akan dibagi menjadi suatu sistem elemen-elemen hingga. Penentuan jenis elemen dilakukan agar model dibuat bisa mewakili bentuk dan sifat benda sebenarnya. Elemen-elemen yang dipilih harus lebih kecil agar mendekati nilai sebenarnya tetapi juga harus cukup besar agar mengurangi pengerjaan hitungan. Pemilihan elemen yang kecil biasanya dilakukan untuk benda dengan perubahan geometri yang tajam, sedangkan pemilihan elemen yang besar dilakukan untuk benda yang bentuknya relatif konstan.

Pemilihan jenis elemen bergantung pada kondisi benda dan pembebanannya. Elemen balok dan balok adalah jenis elemen garis. Elemen tersebut mempunyai luas penampang melintang tetapi digambarkan dalam bentuk garis. Untuk elemen 2 dimensi yang paling sederhana adalah elemen segitiga dan elemen segiempat. Elemen tersebut mempunyai sisi atau batas berbentuk garis lurus atau linier. Ukuran elemen bisa konstan ataupun tidak konstan, sedangkan untuk elemen 3 dimensi yang paling umum digunakan adalah elemen *tetrahedral* dan *hexagonal*.

2. Pemilihan fungsi perpindahan

Fungsi perpindahan dalam elemen ditentukan dengan menggunakan harga atau koordinat titik simpul elemen. Fungsi perpindahan elemen 2 dimensi ditentukan dengan fungsi koordinat dalam elemen tersebut (bidang x-y).

3. Tentukan hubungan *strain/displacement* dan *stress/strain*

Hubungan *strain/displacement* dan *stress/strain* sangat penting dalam penurunan persamaan setiap elemen hingga. Untuk kasus deformasi dalam arah sumbu x hubungan *strain* (tegangan) ϵ_x dengan *displacement* dinyatakan dengan :

$$\epsilon_x = \frac{d_u}{d_x} \quad (2.34)$$

Hubungan tegangan dengan regangan yang paling sederhana dan sering digunakan adalah *Hooke's law*, yaitu :

$$\sigma_x = E \varepsilon_x \quad (2.35)$$

Dimana :

σ_x = tegangan dalam arah x

E = modulus elastisitas

ε_x = regangan dalam arah x

4. Penurunan matrix dan persamaan kekakuan elemen

Pengembangan matrix kekakuan dan persamaan elemen diturunkan dari konsep koefisien pengaruh kekakuan yang digunakan dalam analisa struktur.

5. Penggabungan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global total dan penetapan syarat batas

Setelah persamaan elemen diperoleh maka persamaan tersebut digabungkan dengan metode superposisi berdasarkan kesetimbangan gaya pada titik simpul. Persamaan tersebut akan menghasilkan persamaan global. Persamaan global dapat dituliskan dalam bentuk matrix berikut :

$$\{F\} = [K]\{d\} \quad (2.36)$$

Dimana :

$\{F\}$ = vektor gaya global pada titik simpul

$[K]$ = matrix kekakuan global struktur

$\{d\}$ = vektor perpindahan titik simpul

6. Penyelesaian persamaan global

Dengan menerapkan syarat batas diperoleh persamaan simultan yang ditulis dalam matrix berikut :

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{21} & \dots & K_{n1} \\ K_{21} & \dots & & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & \dots & \dots & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_n \end{Bmatrix} \quad (2.37)$$

Dimana dengan n = jumlah total derajat kebebasan titik simpul struktur.

Persamaan 2.30 dapat diselesaikan dengan beberapa metode seperti metode eliminasi atau metode *iterasi* untuk mendapatkan harga variabel yaitu titik simpul.

7. Penyelesaian regangan dan tegangan elemen

Tegangan dan regangan bisa diperoleh dari persamaan pada tahapan ke-3. Persamaan tersebut dimasukkan kedalam persamaan 2.29 pada tahapan ke-6, sehingga tegangan elemen dapat langsung diperoleh.

8. Interpretasi hasil

Langkah terakhir adalah dengan menginterpretasikan atau menganalisa hasil yang didapat untuk digunakan dalam proses analisa atau perancangan selanjutnya.

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai tegangan yang bekerja pada kait tunggal pernah dilakukan oleh Rahmi Uddanwadiker pada tahun 2011. Pada penelitian tersebut diperoleh daerah kritis akibat pembebanan yang berada pada daerah lengkungan kait. Kemudian hasil simulasi *software* elemen hingga dilakukan validasi menggunakan *photo-elasticity*.

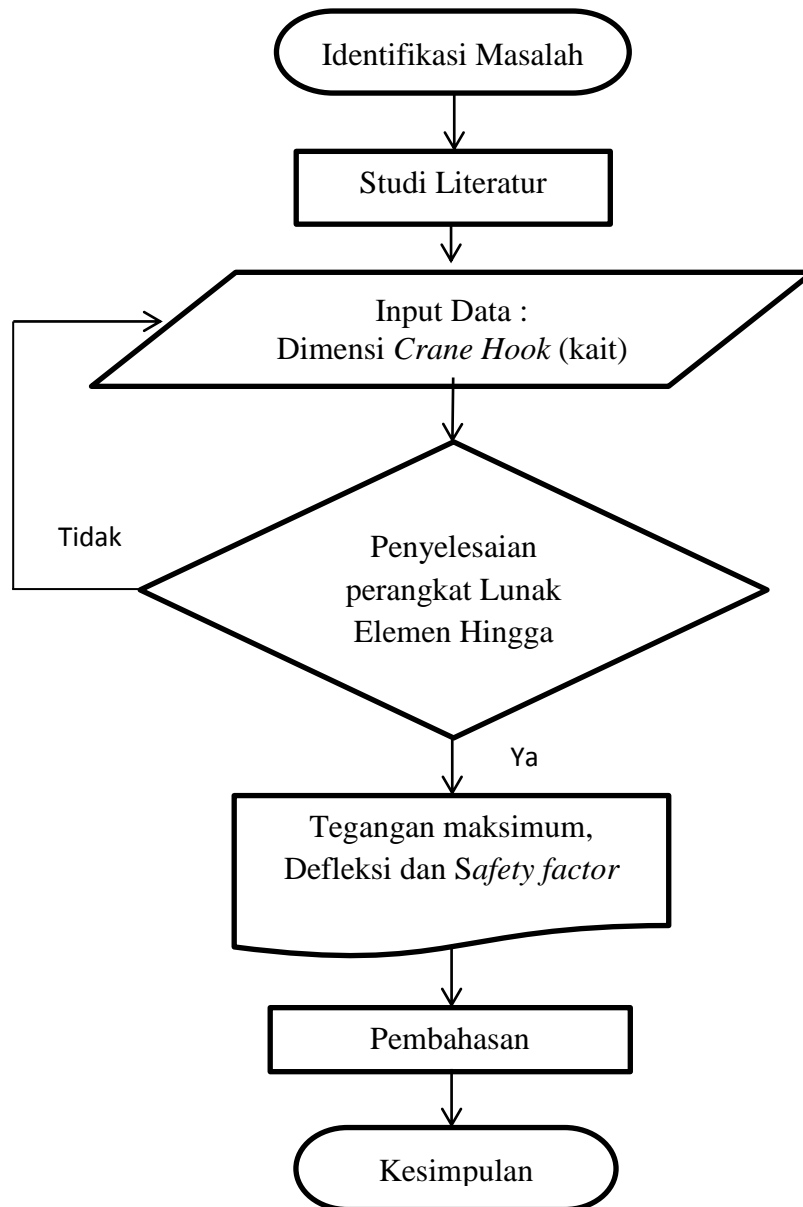
Penelitian serupa juga dilakukan pada tahun 2013 oleh Rajurkar, dkk mengenai analisa perbandingan tegangan pada kait tunggal dengan variasi bentuk penampangnya. Dimana hasil penelitiannya menjelaskan bahwa kait tunggal dengan bentuk *circular* memiliki tegangan kerja lebih kecil daripada bentuk *trapezoidal*, sehingga lebih aman untuk digunakan.

Pada tahun 2013 juga pernah dilakukan penelitian serupa yang dilakukan oleh Govind Narayan mengenai tegangan yang bekerja pada jenis kait tunggal, dimana juga dilakukan variasi bentuk penampang berupa *square*, *circular*, *curved* dan *modified curved*. Pada penelitiannya diperoleh bentuk penampang *circular* mengalami tegangan kerja dan defleksi terbesar dari bentuk penampang lainnya.

BAB III

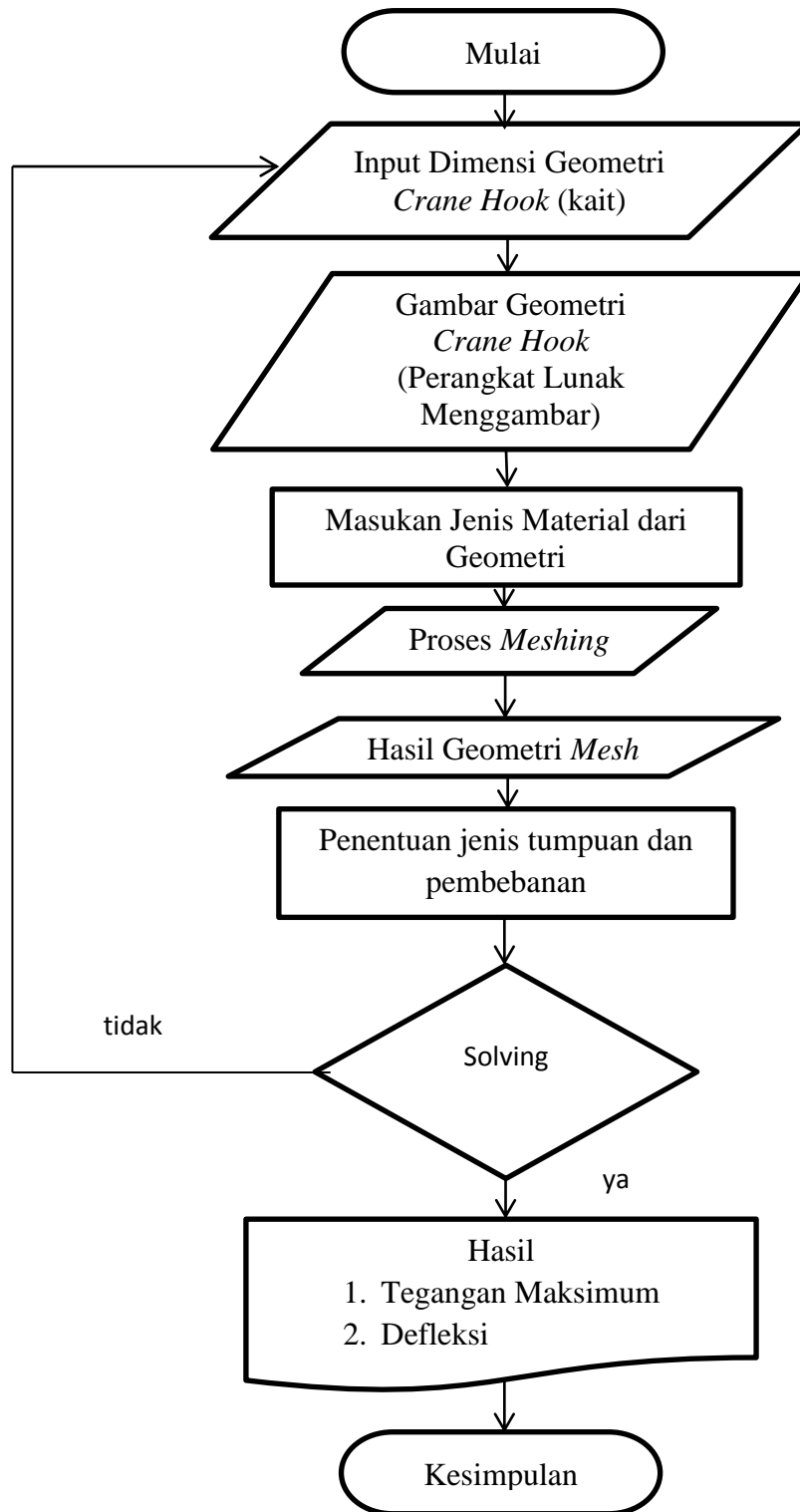
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Diagram Alir Penyelesaian Elemen Hingga



Gambar 3.2 Diagram alir elemen hingga

3.3 Prosedur Analisa

Dalam menganalisa kekuatan struktur pada beberapa jenis *crane hook* (kait), ada beberapa langkah yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

3.3.1 Studi Lapangan dan Studi Literatur

Sebelum melakukan analisa kekuatan struktur *crane hook* (kait) ini, perlu dilakukan studi lapangan dan studi literatur. Studi lapangan yang dimaksud adalah melihat kasus-kasus yang sering terjadi pada struktur *crane hook* (kait).

Sedangkan pada studi literatur merupakan dasar dalam melakukan analisa. Studi literatur ini diambil dari berbagai sumber, seperti : jurnal-jurnal yang membahas tentang analisa *crane hook*, buku-buku tentang teori kegagalan dan alat berat, diktat, dan skripsi sejenis.

3.3.2 Data Spesifikasi Kait (*Crane Hook*)

Crane Hook merupakan penghubung antara muatan dengan lengan *crane*, *crane hook* (kait) digunakan untuk menggantung muatan yang akan diangkat dan dipindahkan. Kekuatan dari struktur *crane hook* (kait) dalam menahan beban angkut disesuaikan dari dimensi dan material yang digunakan. Spesifikasi yang digunakan untuk mengangkat beban 20 ton atau 196200 N (*lampiran 2*).

3.3.3 Material *Crane Hook*

Material yang digunakan untuk ketiga jenis *crane hook* (kait) adalah AISI 4140 *alloy steel*. Dimana *properties* material AISI dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Data Material *crane hook* ^[9]

Properties	Value
<i>Yield Strength</i>	415 Mpa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	655 Mpa
<i>Young's Modulus</i>	210 Gpa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,3

3.3.4 Prosedur Penyelesaian dengan Perangkat Lunak Elemen Hingga

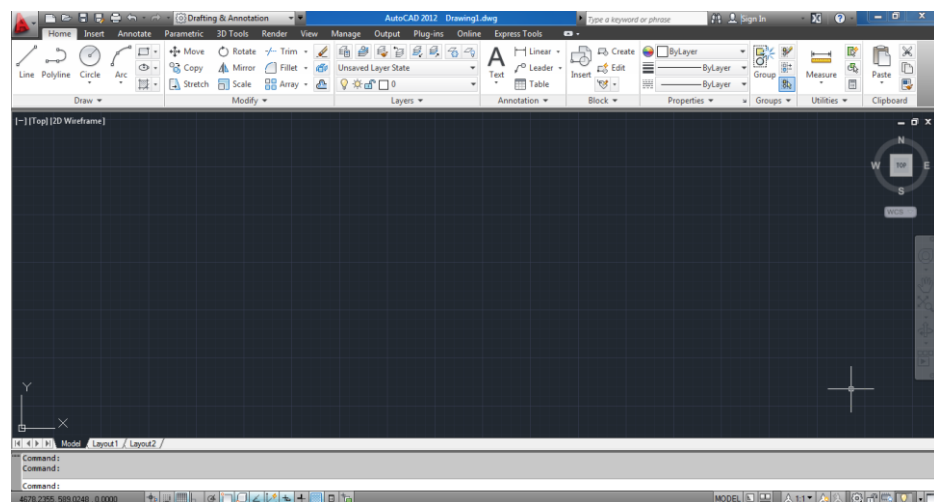
Pada prosedur penyelesaian dengan perangkat lunak elemen hingga ini menjelaskan langkah-langkah dalam menjalankan simulasi untuk mendapatkan nilai kekuatan struktur pada *crane hook* (kait). Adapun langkah-langkah penyelesaian elemen hingga adalah sebagai berikut :

3.3.4.1 Pre Processing

Pada tahap *pre processing*, menjelaskan langkah awal dalam penyelesaian elemen hingga. Dimana pada proses ini menjelaskan proses pembuatan geometri dari *crane hook*, menentukan jenis material yang digunakan, proses *meshing*, penentuan syarat batas dan pemberian gaya.

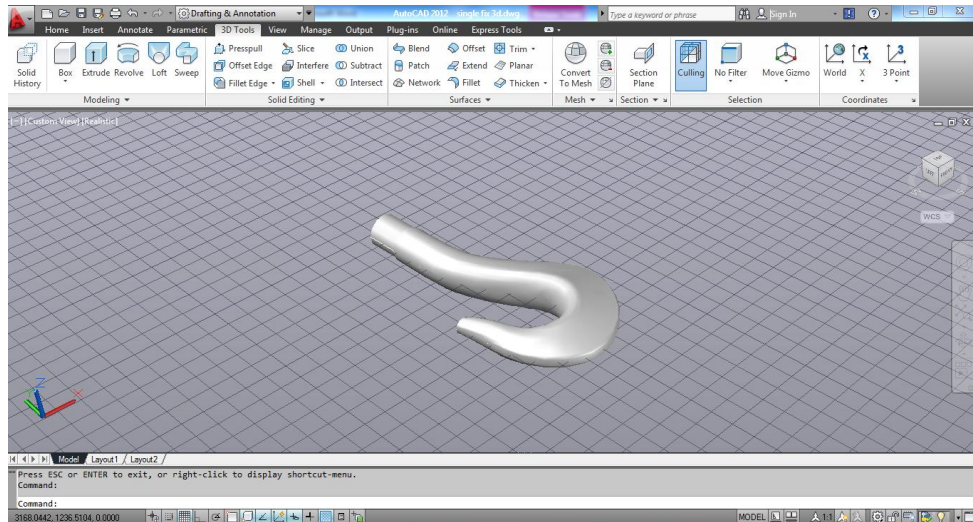
1. Proses Pemodelan Geometri *Crane Hook*

Pada proses pemodelan geometri *crane hook* (kait) menggunakan perangkat lunak *Autodesk Autocad 2012* yang kemudian akan di ekspor ke *software* elemen hingga yaitu *Ansys 12*.



Gambar 3.3 Tampilan awal Autodesk Autocad 2012

Pada tampilan awal ini lakukan proses sketsa *crane hook* (kait) sesuai dengan jenis yang akan dibuat, setelah proses sketsa selesai maka gambar dibuat dalam 3D dengan menggunakan perintah *loft* seperti yang dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Geometri *crane hook* yang dibuat pada *Autocad 2012*

Setelah pemodelan *crane hook* (kait) selesai dibuat maka file di simpan dalam format “sat” agar dapat dibaca oleh perangkat lunak elemen hingga *Ansys*.

2. Proses *Import* Geometri ke Perangkat Lunak Elemen Hingga

Pada proses pemodelan geometri menggunakan perangkat lunak *Autodesk Autocad*, maka langkah selanjutnya untuk memproses kedalam elemen hingga adalah dengan cara meng-*import* geometri *crane hook* (kait) yang telah di simpan dalam format “sat”.

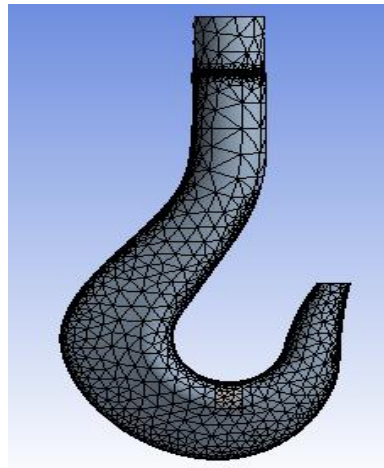
3. Menentukan Jenis Material

Pada proses elemen hingga, setelah proses *import* selanjutnya yaitu menentukan jenis material yang digunakan pada geometri *crane hook*. Pada jenis material, data-data material dapat dimasukkan secara manual pada perangkat lunak elemen hingga. Data material berupa kekuatan luluh (*yield strength*) dan kekuatan tarik (*ultimate strength*).

4. Meshing

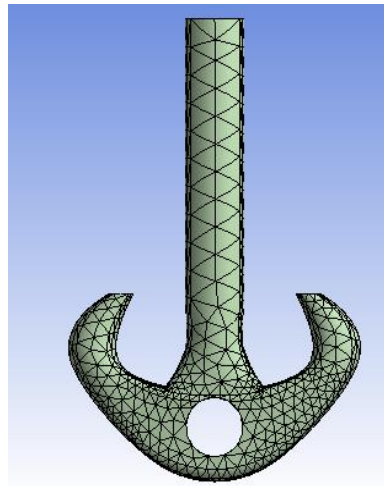
Sebelum melakukan proses simulasi, geometri/benda terlebih dahulu dilakukan proses *meshing*. Dimana proses *meshing* ini adalah membagi geometri ini menjadi bagian-bagian kecil yang akan membentuk geometri benda. Semakin kecil ukuran *meshing* yang terbentuk maka akan semakin mendekati nilai sebenarnya, akan tetapi membuat proses penyelesaian/*solving* akan menjadi semakin lama.

Pada proses *meshing* kait tunggal yang dapat dilihat pada gambar 3.5 membentuk jumlah *node* sebanyak 63138 buah dan elemen yang terbentuk adalah 40060 buah. Proses *meshing* pada kait tanduk ganda yang dapat dilihat pada gambar 3.6 juga membentuk *node* sebanyak 12398 buah dan elemen yang terbentuk sebanyak 6470 buah, sedangkan pada proses *meshing* untuk struktur *shackle* membentuk *node* sebanyak 14758 buah dan juga membentuk 7195 elemen yang dapat dilihat pada gambar 3.7.



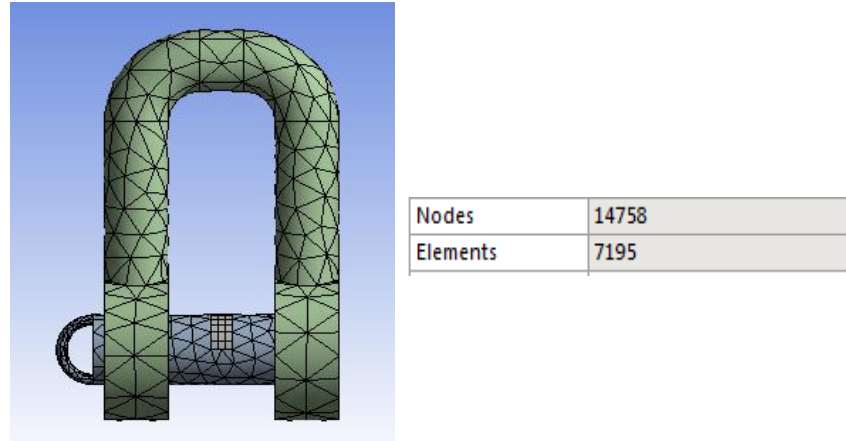
Nodes	63138
Elements	40060

Gambar 3.5 *Meshing* pada kait tunggal



Nodes	12398
Elements	6470

Gambar 3.6 *Meshing* pada kait tanduk ganda



Gambar 3.7 *Meshing pada shackle*

5. Penentuan Kondisi Batas dan Jenis Pembebanan

Langkah yang dilakukan selanjutnya setelah proses *mesh* adalah menentukan syarat batas yang digunakan, di mana pada proses ini adalah menentukan jenis tumpuan yang digunakan pada geometri dan menentukan jenis dan besar pembebanan sebesar 20 Ton atau 196200 N. Sedangkan jenis tumpuan yang digunakan pada simulasi analisa *crane hook* ini adalah *fixed support* dan gaya yang digunakan adalah *force* dan terdapat gaya lain yang mempengaruhi proses simulasi adalah gaya gravitasi.

Dikhususkan untuk kait tanduk ganda di mana beban yang diberikan untuk 1 tanduk saja sebesar $Q = 196200/2 = 98100$ N, jadi besarnya beban yang diberikan berdasarkan persamaan 2.6 adalah :

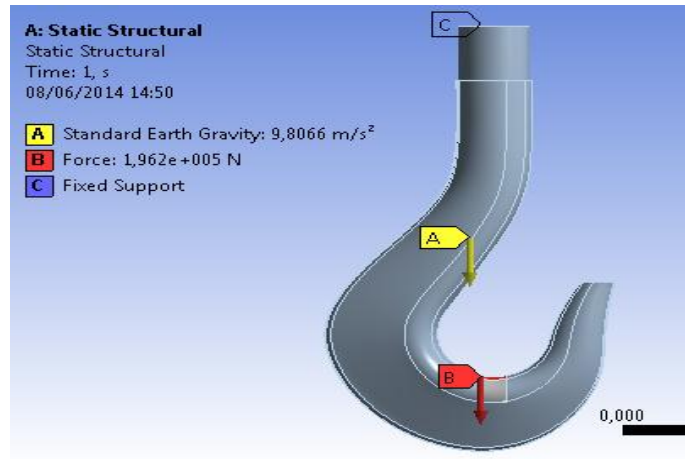
Diketahui : $Q = 98100$ N

$$\alpha = 45^\circ$$

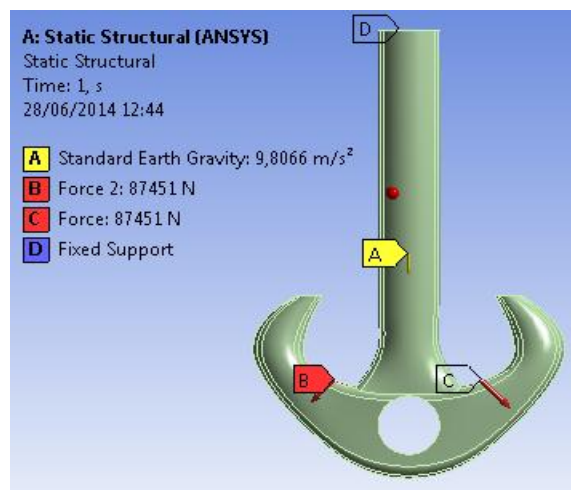
$$\beta = 26^\circ$$

$$P_I = \frac{2Q \sin (\alpha + \beta)}{3 \cos \alpha}$$

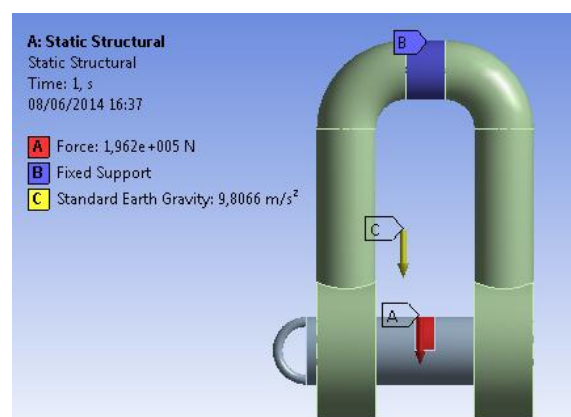
$$P_I = 87450,603 \text{ N}$$



Gambar 3.8 Kondisi batas pada kait tunggal



Gambar 3.9 Kondisi batas pada kait tanduk ganda

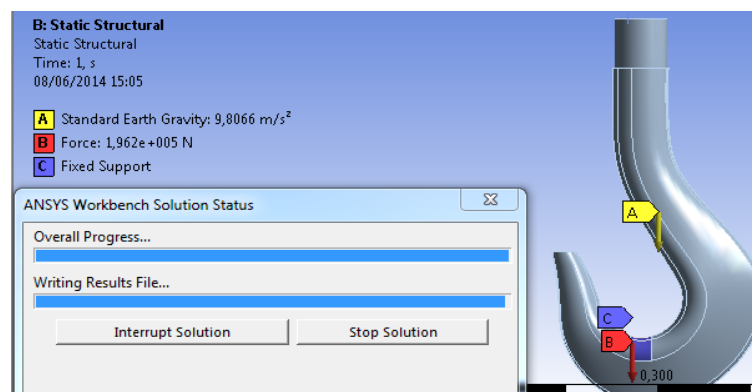


Gambar 3.10 Kondisi batas pada shackle

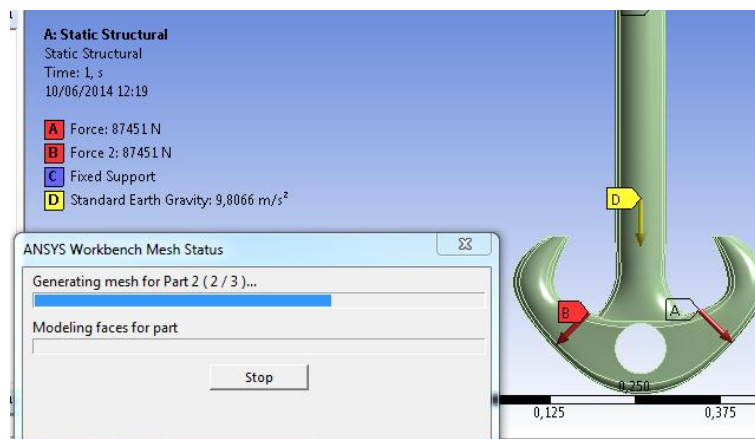
Pada gambar menjelaskan jenis pembebanan dan jenis tumpuan pada struktur *crane hook*. Dimana beban yang diberikan pada ketiga jenis *crane hook* ditunjukkan dengan warna merah dengan besar pembebanan yang sama yaitu 196200 N. Sedangkan warna biru menunjukkan tumpuan yang digunakan pada struktur *crane hook* yaitu *fixed support* dan untuk *standard earth gravity* sebesar $9,8066 \text{ m/s}^2$ ditunjukkan dengan warna kuning.

3.3.4.2 Solving (Proses Menjalankan Program)

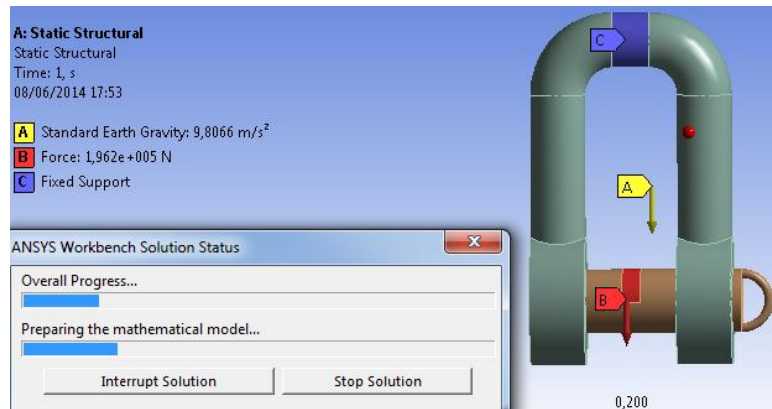
Pada proses *solving*, yaitu proses menjalankan perangkat lunak pada komputer atau proses simulasi dengan komputer. Pada proses *solving* harus diperhatikan pesan-pesan yang timbul dari perangkat lunak, karena pesan yang timbul dari perangkat lunak berupa informasi yang terjadi pada proses *solving* agar simulasi berhasil.



Gambar 3.11 Proses *Solving* pada kait tunggal



Gambar 3.12 Proses *Solving* pada kait tanduk ganda



Gambar 3.13 Proses *Solving* pada *shackle*

3.3.4.3 *Post Processing*

Post processing merupakan proses akhir dari penyelesaian elemen hingga. Pada *post processing* menjelaskan tampilan hasil simulasi dari perangkat lunak elemen hingga. Hasil simulasi pada *post processing* berupa nilai kekuatan *crane hook* berupa tegangan maksimum (*maximum principal stress*) dan nilai *total deformation*.